

TARTU ÜLIKOOL
MATEMAATIKA-INFORMAATIKATEADUSKOND

Arvutiteaduse instituut

Infotehnoloogia eriala

Sten Suitsev

LEGO MINDSTORMS NXT ja gaasilise hapniku andur

Bakalaureusetöö (6 EAP)

Juhendajad: lektor Anne Villems

spetsialist Taavi Duvn

Autor: “.....” juuni 2011

Juhendaja: “.....” juuni 2011

Juhendaja: “.....” juuni 2011

Lubada kaitsmisele

Professor “.....” juuni 2011

TARTU 2011

Sisukord

Sissejuhatus	3
1. Gaasiline hapnik maailmaruumis	4
1.1 Hapniku avastamine	4
1.2 Hapnik kui keemiline element.....	5
1.2 Hapniku omadused.....	7
1.3 Hapnik Maal.....	8
2 Gaasilise hapniku andur	9
2.1 Anduri tootja <i>Vernier</i>	9
2.2 Anduri töö põhimõte	10
2.3 Anduri kalibreerimine	11
2.4 Gaasilise hapniku anduri ühendamine LEGO MINDSTORMS NXT komplektiga	13
3. Ülesanded.....	18
3.1 Ülesanne 1	19
3.1.1 Ülesande 1 lahendus.....	21
3.2 Ülesanne 2	24
3.2.1 Ülesande 2 lahendus.....	26
3.3 Ülesanne 3	29
3.3.1 Ülesande 3 lahendus.....	31
LEGO MINDSTORMS NXT and Oxygen gas sensor	33
Viited.....	34
Tabelid.....	35
Lisad.....	35

Sissejuhatus

Järjest kasvav infotehnoloogia sektor, mis vajab pidevalt uut tööjõudu, rõhutab reaalarvutuste tähtsust haridussüsteemis. Selleks, et tõsta reaalarvutuste populaarsust koolides on algatatud mitmeid projekte. Üheks selliseks on ka aastal 2007 alguse saanud Kooliroboti projekt[1]. Projekti raames viiakse läbi õpetajatele mõeldud kursusi, kus tutvustatakse LEGO MINDSTORMS NXT tööpõhimõtteid ja arenduskeskkondi. Lisaks antakse õpetajatele valmis õppematerjalid, mida saab koolitundide huvitavamaks muutmiseks rakendada. Koolid peavad siiski endale ise ostma LEGO MINDSTORMS NXT komplektid ja vastavalt soovile lisaandurid.

LEGO MINDSTORMS NXT on LEGO poolt toodetav komplekt, mis lisaks tavalistele LEGO osadele sisaldab endas ka programmeeritavat robotit. Olenevalt komplektist on lisatud kolm mootorit, valguse-, heli- ja puuteandurid. Lisaks valmistatavad firmad Vernier ja Mindsensors LEGO MINDSTORMS NXT robotitega ühilduvaid sensoreid. Need sensorid on hariduslikel eesmärkidel loodud ja on märkimisväärselt odavamad, lihtsamalt käsitletavad kui teaduslikes projektides kasutatavad sensorid. Enne sensoriga tööle hakkamist tuleks lähemalt tutvust teha mõõdetava nähtuse füüsikaliste ja keemiliste omadustega.

Antud bakalaureusetöö üheks eemärgiks on luua Kooliroboti projekti jaoks õpetajatele juhend, kuidas kasutada LEGO MINDSTORMS NXT roboteid ja Vernier gaasilise hapniku andurit. Eelnevalt tehakse töö esimeses peatükis kokkuvõtlik ülevaade gaasilisest hapnikust. Tutvustatakse selle keemilisi ja füüsikalisi omadusi, avastamislugu. Tuuakse ka erinevaid näiteid igapäeva elust, et faktid seostuksid ja jääks seeläbi ka paremini meelde. Esimese peatüki materjal on sobiv taustinfo, millega võiks iga sensoriga tööle asuja eelnevalt tutvuda.

Teises peatükis tutvutakse lähemalt gaasilise hapniku anduri tööpõhimõtetega. Selgitatakse, millises olukorras on tarvilik läbi viia kalibreerimine ja kuidas seda teha. Lisatud on ka detailne kirjeldus, kuidas andurit LEGO MINDSTORMS NXT

juhtmooduliga ühendada ja NXT-G programmeerimiskeskonda lisada. Kolmandas peatükis on kolm erineva raskusastmega ülesannet. Kõik ülesanded on kindla struktuuriga, et tagada ühtsus teiste ülesannetega, mis on juba eelnevalt Kooliroboti projektis kasutusel. Iga ülesande järel on ka üks võimalik lahendusvariant ja põhjalik seletus. Käiakse ka üle aspektid, mis võivad probleeme tekitada. Tööga tuleb kaasa ka CD [Lisad 1], millelt leiab kõikide ülesannete programmid. Järgnevalt alustatakse gaasilise hapniku ülevaatega.

1. Gaasiline hapnik maailmaruumis

Hapnik on kõige levinum keemiline element Maal. Seda leidub kõikjal – maas, õhus ja vees. Maakoore massist 49,2%, ookeani massist 88,8% ja õhu massist 23,1% moodustab hapnik [2]. Enamasti ei esine hapnik omaette ainena vaid on mõne teise aine koostisosaks. Üheks selliseks levinud aineks on näiteks süsihappegaas - CO_2 , mille molekul koosneb ühest süsiniku ja kahest hapniku aatomist. Lisaks on hapnik ainena kogu universumis esinemise sageduselt kolmas element vesiniku ja heeliumi järel[3]. Nii moodustab hapnik ka Päikese massist 0,9%. Inimkehas on 61,4% hapnikku [4]. Seega on hapnik oluline element nii meie igapäevases elus kui ka kogu universumis. Järgmiseks vaadatakse tagasi ajaloos, kuidas hapnik avastati.

1.1 Hapniku avastamine

Hapniku avastamine on seotud kolme teadlase, briti vaimuliku Josphe Priestley, rootsi apteekri Carl W. Scheele ja prantsuse õpetase Antoine de Lavoisier' töödega [5]. Ka keskajast tuntud teadlane Leonardo da Vinci jõudis järeldusele, et üks õhu koostisosa võimaldab põlemist. Kõigi kolme teadlase avastused jäävad kõik lähestikku ühte perioodi 18.saj 70-ndatel aastatel. Esimesena avastas hapniku Scheele aastal 1772. Aastal 1775 esines Lavoisier Prantsusmaal Pariisi Teaduste Akadeemias ettekandega eluõhust, millele järgnes 1775. aastal raamat, mis kirjeldas tema erinevaid keemilisi katsetusi. Aastal 1774 avaldas Priestly omakorda töö, kus ta kuumutas elavhõbeda oksiidi (HgO) ja sai tulemusena hapnikku. Kuna Priestly avaldas oma töö kohta teate trükis esimesena, loetaksegi teda hapniku avastajaks. Hapniku teaduspärane nimetus *oxygenium* tuli Lavoisieri poolt. See tuletati kreekakeelsetest sõnadest *oxys* - “hapu” ja *genos* - “teke”.



Joonis 1. Vasakult paremale Joseph Priestley, Antoine Lavoisier, Carl W. Scheele [6]

Järgnevalt uuritakse lähemalt hapnikku kui keemilist elementi.

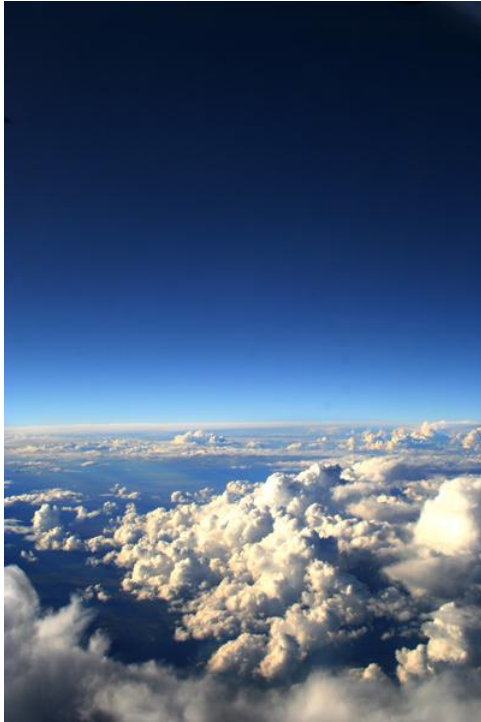
1.2 Hapnik kui keemiline element

Hapniku keemiline sümbol on O, aatominumber on 8. Aatominumber tähistab prootonite arvu selle elemendi tuumas, mis annab igale elemendile selle keemilised omadused. Lihtainena on hapnikul kaks levinud vormi: dihapnik (edaspidi hapnik) ehk O_2 ja trihapnik ehk O_3 laialdasemalt tuntud kui osoon. Järgnevalt võrdleme hapnikku ja osooni.

Olgugi et keemilise ühendina on hapnik ja osoon üsnagi sarnased, erinedes vaid ühe hapniku aatomi võrra molekulis, on elusorganismide vaatepunktist nad üsnagi erinevad. Näiteks on osoon inimesele sissehingamisel mürgine, kuid hapnik on eluks hädavajalik. Tuleks lisada, et puhta hapniku sisse hingamine suurtes kogustes on samuti kahjulik ja võib kahjustada kesknärvisüsteemi[7]. Inimkehas toimub hapniku laiali kandmine vere kaudu. Kopsudes seob hemoglobiin hapniku, mis hiljem vabaneb kudedes. Kõrgem hemoglobiini tase tagab parema hapniku transpordi ja tõstab lihaste töövõimet. See on üheks põhjuseks, miks pidevalt kontrollitakse sportlaste hemoglobiini taset. Looduslikust tasemest kõrgem hemoglobiini tase võib viidata keelatud ainete kasutamisele.

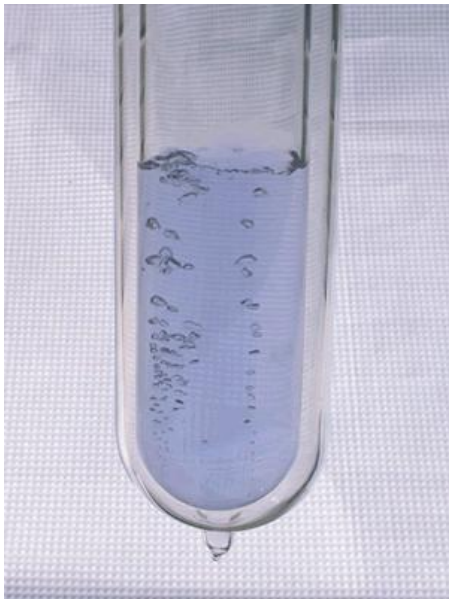
Osooni tuntakse eelkõige tänu selle kaitsevõimele UV-kiirguse (ultraviolettkiirguse) eest. Osoon on terava lõhnaga, ebapüsiv gaas, mis on saanud oma nime kreeka keelsest

sõnast 'oson' - tõlkes 'lõhnav'. Päikeselistel päevadel annab taevale sinise värvuse just osonosfääris [8] asuv osoonikiht, mis asub 10-50 km kõrgusel. Kui osoonikiht on liiga õhuke, siis jõuab rohkem UV-kiirgust[9] maapinnale, mis omakorda võib inimestele põhjustada nahakahjustusi.



Joonis 2. Osoon annab päikeselise ilma korral taevale omase sinise tooni [10].

Dihapnik on gaas, mis -183 kraadi juures Celsiuse skaalal kondenseerub siniseks vedelikuks. Alandades temperatuuri -218,79 kraadini, hapnik jäätub ehk muutub tahkeks, värvuselt on see sarnane vedelale hapnikule. Lisaks on hapnikul ka kolm stabiilset isotoopi. Siiski keskendume ainult gaasilise O_2 mõõtmisele, kuna O_3 ehk osoon asub enamasti kõrgemates atmosfääri kihtides, on elusorganismidele mürgine ja pole kasutusjuhendi põhjal Vernier' gaasilise hapniku sensoriga mõõdetav.



Joonis 3. Hapnik vedelal kujul[11].

Järgnevas lõigus uuritakse lähemalt hapniku kui aine keemilisi ja füüsikalisi omadusi.

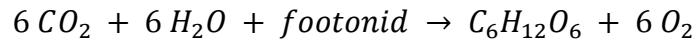
1.2 Hapniku omadused

Hapnik on mittemetall. Mittemetallid [12] on suure elektronegatiivsusega elemendid, mis keemilistes reaktsioonides peamiselt liidavad elektrone. Mittemetallide hulka kuuluvad ka vääriskaasid, milleks on heelium, neon, argoon, krüptoon, ksenoon, radoon [9]. Hapniku puhul ei ole tegemist vääriskaasiga. Lisaks ei juhi mittemetallid elektrit, neil puudub metallidele iseloomulik läige, nad on valdavalt värvitud ja võivad esineda nii gaasina, vedelikuna kui ka tahke aienena.

Hapnik reageerib paljude liht-ja liitainetega, mille tulemusena tekivad oksiidid (Näiteks: $C + O_2 \rightarrow CO_2$ süsihappegaas, $CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$ süsihappegaas ja vesi). Oksiidid on ühendid, mis koosnevad kahest aatomist, millest üks on alati hapnik [13]. Kõige tuntum oksiid on vesi H_2O . Ka rauarooste $Fe_2O_3/FeO/Fe_3O_4$ ja kustutamata lubi CaO on oksiidid, millega igapäeva elus tihedamalt kokku puututakse.

1.3 Hapnik Maal

Tänu fotosünteesile toimub pidev õhu ringlus, kus toodetakse hapnikku, mida elusorganismid tarvivad. Fotosüntees toimub kõikides taimedes ja ka mõningates bakterites. Selle toimumiseks on vaja süsihappegaasi, vett ja valgust. Protsessi lõppedes saadakse glükoos ja hapnik. Lihtsustatud keemilise protsessi valem näeb välja selline :



(süsihappegaas + vesi + valgus \rightarrow glükoos + hapnik)

Hinnanguliselt taastoodavad taimed 20% ja fütoplankton 80% [14] kogu hapnikust.

Võrreldes teiste päikesesüsteemi planeetidega on Maa atmosfääris leiduv hapniku kogus erandlik. Näiteks Marsil ja Veenusel on hapniku osakaal atmosfääris tunduvalt väiksem, kuna seal puudub elusloodus. Ilma taimedeta ei toimu fotosünteesi. Vähene hapnik, mis nende planeetide atmosfääris leidub, on tekkinud mõne teise aine lagunemisel. Näiteks võib süsihappegaas laguneda ultraviolettkiirguse tõttu. Molekul lõhustub ja eralduvad erinevad aine osakesed - nende hulgas ka hapnik.

Hapnik leiab suurt kasutust mitmetes tööstuslikes protsessides. Üheks suuremaks valdkonnaks on erinevate rauasulamite tootmine ja nende töötlemine. Hapniku kasutatakse kõrgahjuprotsessides kõrgete temperatuuride saavutamiseks malmi ja terase valmistamisel. Sarnaselt kasutatakse hapnikku keevitamisel kõrgemate temperatuuride saavutamiseks, näiteks vesiniku-hapniku leek saavutab temperatuuri üle 2000 kraadi ja atsetüleen-hapniku leek üle 3000 kraadi. Huvitava faktina võib lisada, et vedelat hapniku kasutatakse ka kütusena raketites. Apollo 11 Kuule lendamise missiooni tarbeks kasutati 1450 tonni vedelat hapnikku [15].

Järgnevalt uuritakse lähemalt gaasilise hapniku andurit.

2 Gaasilise hapniku andur

Gaasilise hapniku andur (edaspidi andur), mudel nimega 02-BTA on toodetud firma Vernier poolt ja on mõeldud gaasilises keskkonnas hapniku protsentuaalse mahu mõõtmiseks. Selles peatükis hakatakse lähemalt uurima anduri tööpõhimõtet, kuidas seda ühendada LEGO MINDSTORMS NXT robotiga ja kasutamist graafilises programmeerimiskeskkonnas NXT-G.



Joonis 4. Gaasilise hapniku andur [16].

Kuid eelnevalt tutvustatakse põgusalt anduri tootja firmat *Vernier*.

2.1 Anduri tootja *Vernier*

Vernier näol on tegemist firmaga, mis keskendub erinevate sensorite loomisele, mida saaks koolides õpetamiseks kasutada. Firma asutati 1981. aastal David Vernier' ja Christine Vernier' poolt Ameerika Ühendriikides Oregoni osariigis Portlandi linnas [17]. David Vernier, kes oli keskkooli füüsikaõpetaja, alustas simulatsiooni tarkvara arendamisega Apple II arvutitele. Järgnes programm nimega “*Graphical Analysis*”, mis võimaldas sisestatud andmete põhjal joonistada graafikuid. Tänu edukatele toodetele firma kasvas ja hakkas pakkuma tarkvara ka MS-DOS operatsioonisüsteemiga. Alles 1980. aastate lõpuks hakati tootma temperatuuri- ja liikumissensoreid. Praeguseks on esialgsest kodusest garaažifirmast saanud ettevõtte, mis ekspordib oma tooteid 120 erinevasse riiki üle maailma.

2.2 Anduri töö põhimõte

Andur võimaldab mõõta hapniku taset erinevates bioloogilistes ja keemilistes katsetes. Hapniku taseme muutumist on võimalik jälgida mitmetes protsessides:

- elusorganismide hingamistsükli
- metallide oksüdeerumises ehk roostetamises
- fotosünteesis
- käärimisprotsessis
- kõdunemisprotsessis.

Selleks, et protsessides mõõtmisi teha, tutvume eelnevalt anduri töö põhimõtetega. Järgnev kirjeldus põhineb anduriga kaasa tuleval manuaalil [18].

Andur mõõdab hapniku kontsentratsiooni vahemikus 0 kuni 27%, kasutades selleks elektrokeemilist elementi. Element koosneb kahest osast, milleks on tinast anood ja kullast katood. Hapniku molekulid, mis jõuavad elemendini, redutseeritakse elektrokeemiliselt kullast katoodil. Selle elektrokeemilise reaktsiooni käigus tekib pinge, mille põhjal arvutatakse hapniku protsentuaalne kogus, mille andur väljastab. Mõõteprotsess tagastab 90% täpsusega tulemuse käivitamise hetkest 5 sekundi jooksul. Kui mingil põhjusel peaks mõõdetavas keskkonnas hapniku kontsentratsioon muutuma, siis andur suudab selle 90% täpsusega registreerida umbes 12 sekundi jooksul. Järgnevalt tutvume mõningate parameetritega, mida tuleks jälgida enne mõõtmise alustamist.

Kuna andur on mõeldud kasutamiseks õppevahendina, siis on mõisteta, et mõõtmistulemused ei ole nii täpsed kui teaduslikel anduritel. Anduri täpsus on +/- 1% kui õhurõhk on 760 millimeetrit elavhõbedasambal (mmHg). Temperatuurivahemik, mil on võimalik hapniku kontsentratsiooni mõõta, on 5 kuni 40 kraadi Celsiuse järgi. Anduri hoiustamistemperatuuri vahemik on -20 kuni + 60 kraadi Celsiuse järgi. Lisaks on välja toodud ka lubatud rõhuvahemik, mis on 0,5 kuni 1,5 atmosfääri. Õhuniiskus peab mõõtmiskeskkonnas jääma vahemiku 0 kuni 95%.



Joonis 5. Anduriga kaasatulev mõõtepudel [19].

Selleks, et saaksime paremini kontrollida mõõtmiskeskkonna tingimusi on anduriga kaasas mõõtepudel, mille mahuks on 250ml. Järgnevalt vaatame, kuidas andurit kalibreerida.

2.3 Anduri kalibreerimine

Nagu enamik *Vernier*' poolt toodetavaid andureid ei vaja ka gaasilise hapniku andur enne esmakordset käivitamist kalibreerimist. Teatud olukordades on siiski kalibreerimine vajalik. Manuaali põhjal tuleb kalibreerimine sooritada juhul kui, sensor hakkab vananema ja näidud muutuvad järjest madalamateks. Sensoris olevad elektrokeemilised elemendid ammenduvad aja jooksul ja keemilise reaktsioon käigus tekkiv pinge pole enam nii tugev. Sel puhul aitabki sensori uuesti kalibreerimine.

Kalibreerimine koosneb kahest sammust 0% ja 20,9% punktide seadistamisest. Esimese sammuna tuleb seadistada 0% vastav punkt. Mõõtmise tuleks läbi viia keskkonnas, kus hapnik puudub. Üks võimalus hapnikuvaba keskkonna tekitamiseks teoorias on kasutades põlemisprotsessi. Aseta väike põlev küünel mõõtepudelis ja asetage andur pudeli avasse. Kui küünel on kustunud, on hapnik otsa saanud ja võib läbi viia eelnevalt kirjeldatud mõõtmise. Täpse tulemuse saamiseks tuleks lasta mõõtmisprotsessil kesta vähemalt 12 sekundit. Anduri külje peal asub nupp, mille nimi on *CAL* (lühend inglise keelsest sõnast *calibration*). Järgnevalt tuleks antud nupp üles leida ja hoida alla vajutatult ning mõõta hapniku taset. Kui mõõtmine on lõpetatud ei tohi nuppu veel vabastada.

Teiseks sammuks on anduri kalibreerimine 20,9% jaoks. Antud väärtus vastab hapniku protsentuaalsele kogusele õhus. Järgnevalt tuleb nupp vabastada ja lasta anduril mõõta

hapniku kontsentratsiooni õhus. Kogu selle protsessi käigus hinnatakse ümber pinge ja hapniku protsentuaalne suhe. Seega muutub pinge mõõtmisvahemik järjest kitsamaks. Manuaali[18] põhjal on soovitatav sensori elektrokeemiline element välja vahetada kui enne kalibratsiooni tegemist langeb hapniku näit tavakeskkonnas alla 12%. Kahjuks pole seletatud, kuidas tuvastada hetke, mil sensor ei tagasta usaldusväärseid tulemusi peale kalibreerimist. Tõenäoliselt hakkavad sensori tulemused kõikuma liialt suurtes vahemikes.

Kalibreerimisprotsessi võib ka siis läbi viia kui tahame eemaldada õhuniiskuse poolt tekitatava vea. Nimelt on 20,9 % hapnikku õhus ainult siis, kui õhuniiskus on samal ajal 0%. Eestis on aga aasta keskmine suhteline õhuniiskus 80 kuni 83% [20].

Suhteline õhuniiskus	0%	25%	50%	75%	100%
Hapniku protsent õhus	20,9	20,7	20,5	20,3	20,1

Tabel 1. Suhtelise õhuniiskuse ja hapniku koguse protsent õhus[18].

Nagu tabelist näha jääb Eestis hapniku protsentuaalne kogus õhus vahemikku 20,3 kuni 20,1. Seega on võimalik mõõtmistulemusi täpsemaks saada kui läbi teha eelnevalt kirjeldatud kalibreerimine.

Selleks, et andur oleks võimalikult pikalt kasutatav, on tähtis õige hoiustamine. Andur peab olema püstises asendis nagu järgneval joonisel 6 on näidatud.



Joonis 6. Gaasilise hapniku anduri korrektne hoiustamine

Püstise asendi tagamiseks on hea kasutada kaasa tulevat mõõtmispudelit. Järgmiseks vaatame, kuidas andurit LEGO MINDSTORMS NXT komplektiga ühendada.

2.4 Gaasilise hapniku anduri ühendamine LEGO MINDSTORMS NXT komplektiga

Anduri ühendame LEGO MINDSTORMS NXT juhtmooduliga, mida võib näha all oleval joonisel 7.



Joonis 7. LEGO MINDSTORMS NXT juhtmoodul [21]

Enne ühendama asumist tasuks kontrollida, et juhtmooduli akud on laetud. Vastasel juhul ei saa koheselt veenduda, kas andur on töökorras. Andur tuleb ühendada ühte juhtmooduli

anduri ühenduspesasse. Sobivateks pesadeks on 1, 2, 3 ja 4, mis joonist 8 vaadates asuvad juhtmooduli alumises osas. Kuna anduri otsik ja juhtmooduli pesad on erinevat tüüpi, siis on tarvis kasutada vaheadapterit.



Joonis 8. Vernier' adapter [22]

Kasutades vaheadapterit ühendame omavahel juhtmooduli ja anduri, tulemus on näha joonisel 9.

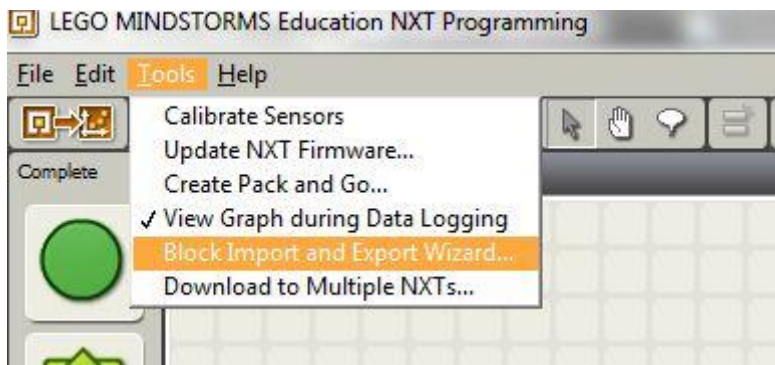


Joonis 9. LEGO MINDSTORMS NXT juhtmoodul ja andur

Nüüd kui andur ja juhtmoodul on omavahel ühendatud asume arvutisse tarkvara paigaldama ning seadistama.

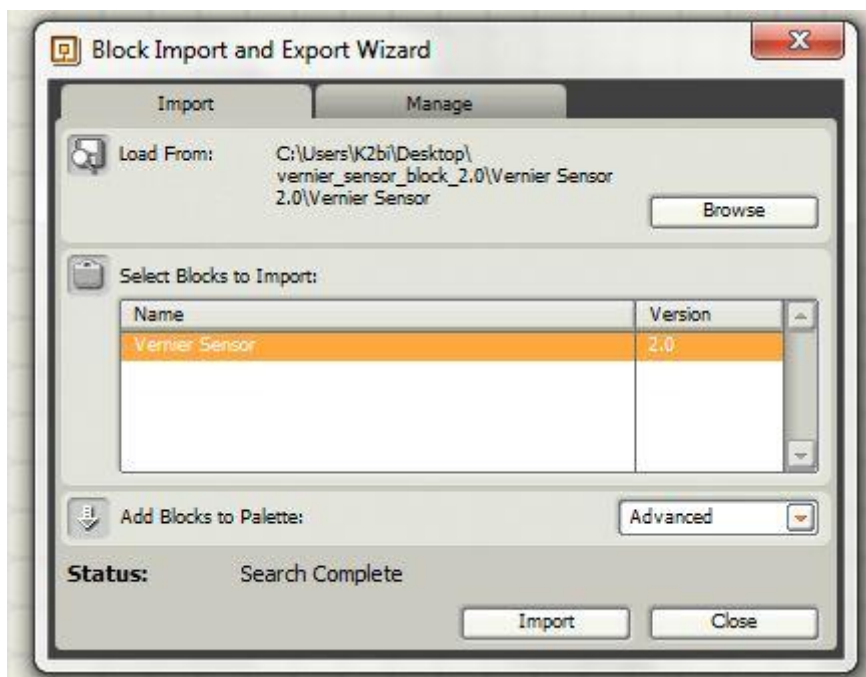
Arvutis kasutame programmeerimiseks LEGO MINDSTORMS NXT-G keskkonda. Tegemist on graafilise programmeerimiskeskkonnaga, kus kogu töö toimub erinevate

plokkidega, mida saab omavahel kombineerida. Kui NXT-G on edukalt installeeritud tuleb importida *Vernier*’ andurite plokk [23], mis on saadaval tootja kodulehel. Selleks ava *Tools* menüüst *Block Import and Export Wizard* nagu on näidatud joonisel 10.



Joonis 10. LEGO MINDSTORMS NXT-G keskkonda lisaploki importimine

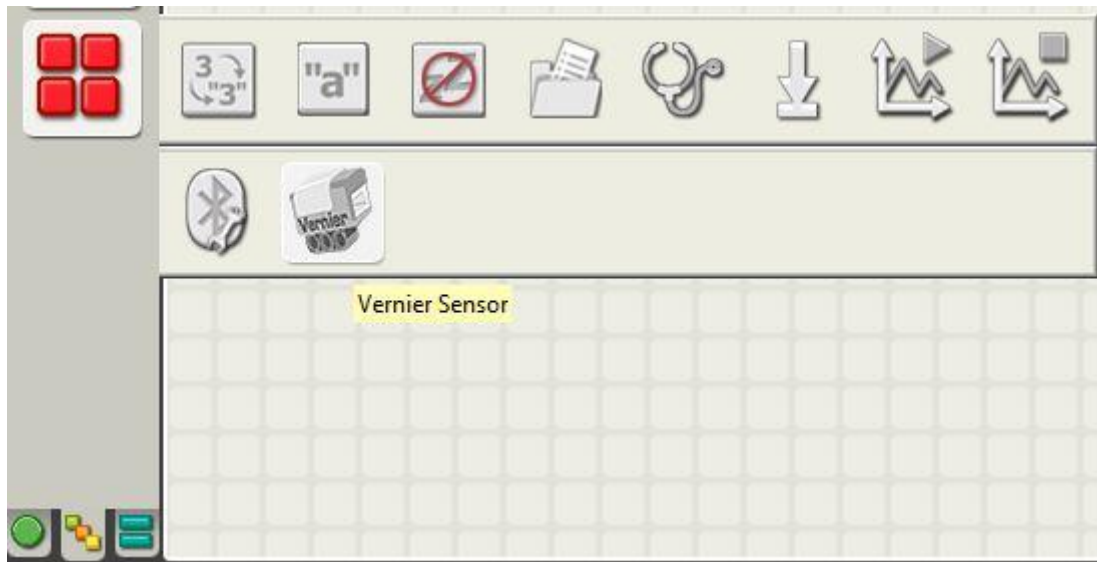
Järgnevas aknas vali *Import* vaheaken ja vajuta nupule *Browse*. Nüüd tuleb üles otsida kaust, kuhu *Vernier* sensorite plokk lahti pakiti. Kui NXT-G leiab sellest kaustast vajalikud failid on tulemus sama nagu joonisel 11.



Joonis 11. NXT-G *Import and Export Wizard* andurite komplekti valimine

Jääb ainult üle valida *Select Blocks to Import* nimekirjast *Vernier Sensor* ja vajutada nuppu *Import*. Nüüd saame asuda kontrollima, kas andur on töökorras ja paigaldamine õnnestus.

Lisame töölauale *Vernier*' sensori plokki ja valime sensori tüübiks gaasilise hapniku. Valime vasakpoolsest menüüst vaheakna *Complete palette*, sealt omakorda *Advanced* alamhulgast *Vernier sensor*.



Joonis 12. *Vernier*' sensori lisamine töölaualale

Kui sensor on edukalt asetatud töölaualale, kontrollime üle ka selle parameetrid. Selleks tuleb lihtsalt sensorile vajutada ja ekraani alumisele osale kuvatakse sensori seadistatavad parameetrid, mida võib näha joonisel 13.



Joonis 13. *Vernier* sensori parameetrid

Kindlasti tuleb üle kontrollida, et sensoriks on valitud *Oxygen Gas* ja *Port* number oleks sama, kuhu on ühendatud sensor juhtmoodulis. Kui kõik parameetrid on paigas tuleb luua ühendus arvuti ja NXT juhtmooduli vahel.

Ühenduse loomiseks on kaks varianti. Esimene ja lihtsam variant on kasutada komplektiga kaasa tulnud USB kaablit. Arvutisse käiv juhe on standard-A otsik, juhtmooduli külge käib standard-B otsik.



Joonis 14. USB standard-A ja standard-B tüübid vasakult paremale [24]

Kui kaablid on ühendatud, lülitame sisse juhtmooduli plokki ja saadame sinna oma testprogrammi, mis koosneb ainult *Vernier* sensori plokist. Selleks tuleb vajutada NXT-G keskkonnas paremal all arvuti ekraani osas asuval paneelil nuppu *Download and run*. Kui kõik sammud on edukalt täidetud, hakkab sensori plokis olev osuti kuvama reaajas näite nagu joonisel 15.



Joonis 15. Töötav Vernieri sensor

Kui juhtmoodul välja lülitada või mõnda muud programmi jooksutada, lõpetatakse näitude reaajas kuvamine. Juhul kui sensori plokile ei õnnestu kuvada tulemusi, tuleks esimene asjana üle kontrollida, kas kaablid on ühendatud õigesti. Eelkõige tuleks üle kontrollida sensori parameetritest valitud *Port* number ja füüsiliselt ühendatud pesa number. Seejärel

tuleks programm uuesti kompileerida ja saata juhtmoodulisse, milleks kasutame uuesti nuppu *Download and run* NXT-G keskkonnas.

Nagu eelnevalt öeldud on USB kaabliga ühenduse loomine üks variant kahest. Lisaks saab ühendust luua ka läbi sinihamba. Hetkel me seda ühenduse loomise viisi läbi ei käi, sest iga LEGO MINDSTORMS NXT komplektiga käib kaasa USB kaabel, millega on tunduvalt kergem ühendust luua.

LEGO MINDSTORMS NXT-G pakub ka võimalust erinevate sensorite mõõtmistulemuste salvestamiseks ja hilisemaks analüüsiks. Selleks on loodud eraldi *Data Logging* vaade. Kui programm käivitatakse NXT-G keskkonnas ja programm sisaldab endas *Start Datalog* plokki viiakse kasutaja koheselt *Data Logging* vaatesse. Sel juhul kuvatakse kasutajale ka reaajas graafiku joonistamine. Kui robot ei ole USB kaabli abil arvutiga ühendatud ja programm käivitatakse otse NXT juhtmoodulist, siis saab graafilise analüüsi läbi viia ka hiljem. Selleks tuleb luua ühendus arvuti ja NXT juhtmooduli vahel ning NXT-G keskkonnas otsida juhtmooduli mälust üles vastav fail. Õpetuse, kuidas seda täpsemalt teha, võib leida teise ülesande lahendusest.

Lisaks NXT-G keskkonnale pakub Vernier ametlikult vajalikke moduleid ka LabView ja ROBO LAB jaoks. Hetkel me nendele tähelepanu ei pööra, sest loodavas õppematerjalis keskendutakse ainult NXT-G kasutamisele. Lisaks eelnimetatud graafilistele programmeerimiskeskondadele on olemas ka C, C++ ja Java keelsed programmeerimiskeskonnad. Järgmiseks liigume edasi näidisülesannete juurde.

3. Ülesanded

Järgnevalt on välja pakutud kolm erinevat ülesannet, mille lahendamiseks on vaja LEGO MINDSTORMS NXT komplekti, *Vernier'* gaasilise hapniku andurit ja NXT-G keskkonda, kus programm valmis kirjutada. Alustame kõige lihtsamast ülesandest, mis on sarnane programmeerimisest tuttava "Hello World" tüübiga. Teise ülesande programmis on vaja kasutada tsükleid, valikuid ja ka graafikut, salvestamaks mõõtmistulemusi. Kolmas

ülesanne on kõige keerulisem ja vajab rohkem nuputamist, kuidas ülesanne realiseerida. Need kolm ülesannet peaksid katma erineva tasemega NXT-G kasutajaskonna. Igale ülesandele järgneb eraldi lehel üks võimalik lahendusvariant. Järgnevalt tutvume kõigi kolme ülesande püstitustega ja võimalike lahendusvariantidega.

3.1 Ülesanne 1

- Tase
 - Kerge
- Eesmärk

Teha esmatutvus LEGO MINDSTORMS NXT-G keskkonna ja *Vernier* gaasilise hapniku anduriga

- Ülesande täitmiseks vajalik
 - LEGO MINDSTORMS NXT komplekt
 - LEGO MINDSTORMS NXT-G tarkvaraga arvuti
 - USB kaabel juhtmooduli ühendamiseks arvutiga
 - *Vernier* gaasilise hapniku andur
 - *Vernier* vaheadapter

- Ülesande püstitus

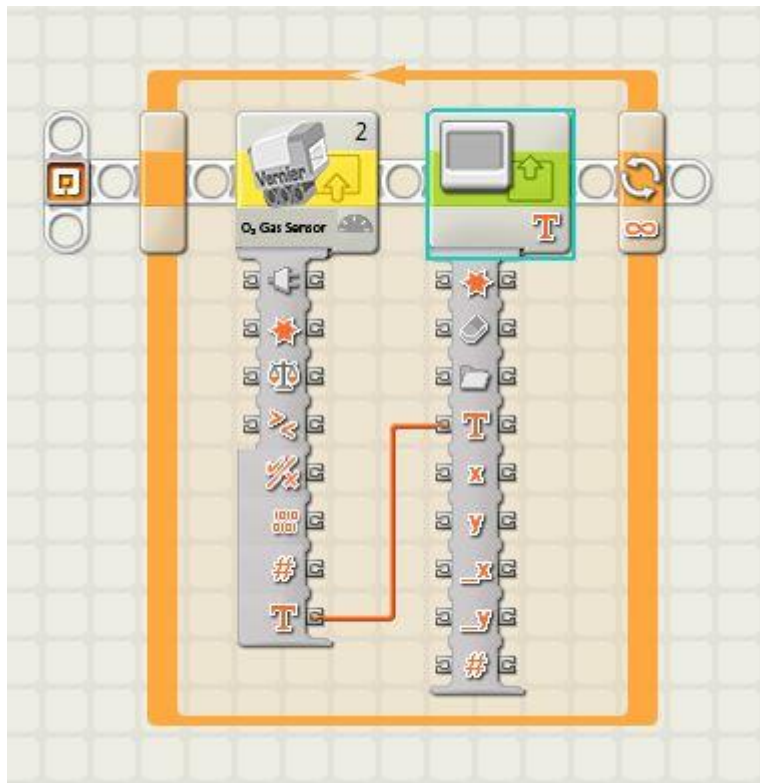
Miku sai ülesandeks mõõta klassiruumis gaasilise hapniku protsenti, paraku puudab tal igasugune eelnev kogemus LEGO MINDSTORMS NXT ja *Vernier*' anduriga. Sinu ülesandeks on aidata Mikul mõõta anduriga gaasilise hapniku kogus õhus ja kuvada see LEGO roboti juhtbloki ekraanile.

- Lahenduse idee
 - Alustuseks ühenda LEGO robot ja andur omavahel, seejärel ava programmeerimiskeskond NXT-G. Otsi üles anduri plokk ja lisaks ekraanile kuvamisplokk. Lisaks võib sul vaja minna ka tsüklit ja pausi (*timeout*).

- Lisaülesanne:
 - Pane andur mõõtmist kordama iga 12 sekundi järel uuesti. Veendu, et peale iga mõõtmist tulemus ka uuesti ekraanile kuvatakse, lisainformatsioonina võiks kuvada ka mitmes mõõtmise hetkel käimas o

3.1.1 Ülesande 1 lahendus

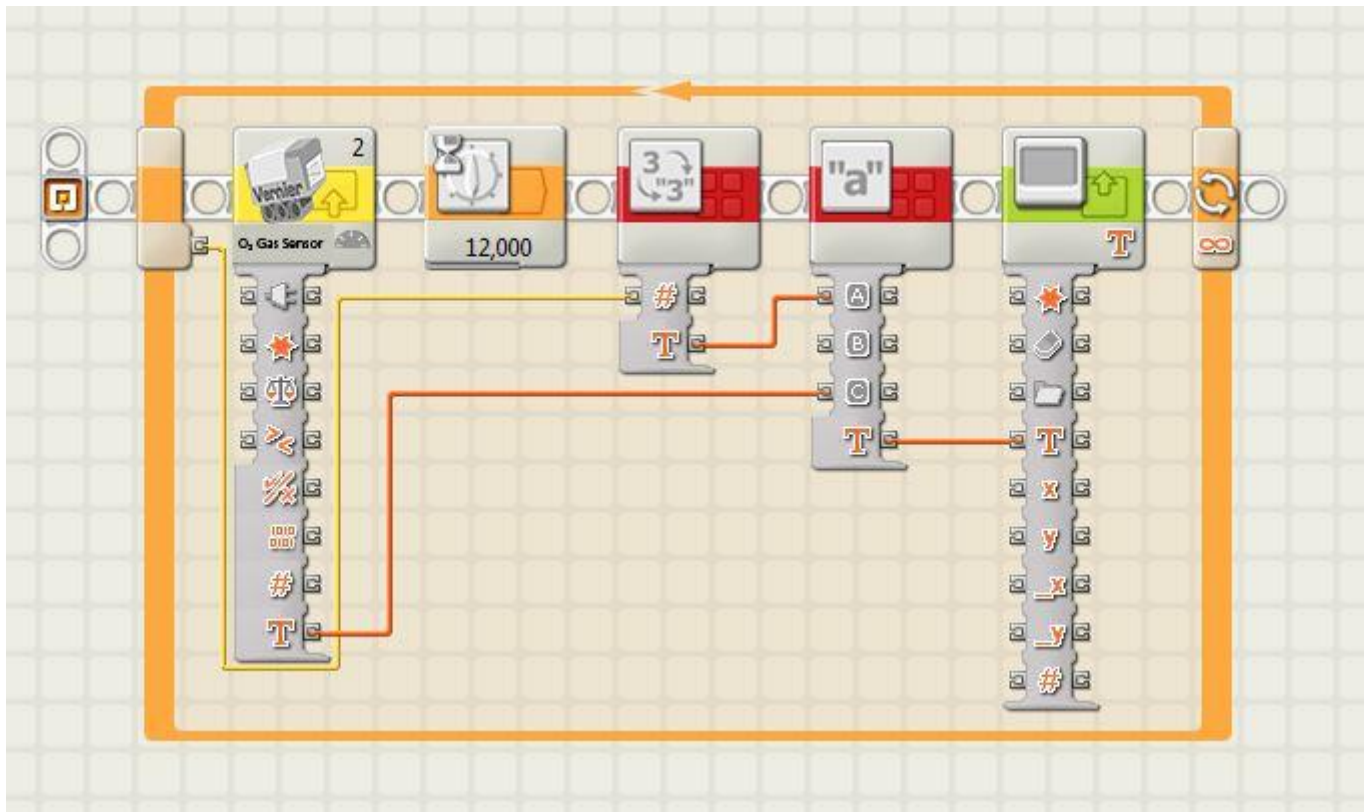
- Üks lahenduse variant:



Joonis 16. Ülesande 1 lahendus

Ülesande lahendamiseks on tarvis luua tsükkel, antud juhul sai valitud lõpmatu tsükkel. Tsükli sisse aseta esimeseks blokiks *Vernier* andur, mille teksti väljund tuleb ühendada kuvamisbloki tekstisisendisse. Kuvamisbloki režiimiks tuleb valida tekst, algselt kuvatakse pilti.

Üks lisaülesande lahendusvariant on:



Joons 17. Ülesande 1 lisaülesande lahendus.

Lisaülesandes lisame põhiülesande lahendusele ootamisbloki, tekstiks konverteerimise bloki ja sõnade ühendamisbloki. Loendame ka tsüklis läbimiskordi, mille tulemuse muudame algul tekstiks ja seejärel saadame sõnade ühendamisbloki. Seal liidame kokku tsükli läbimiskordade arvu ja sensori väljundi. Kokku pandud teksti saadame kuvamisploki. Ootamisplokile anname ette aja väärtuse 12 sekundit.

- Tekkida võivad probleemid ja nende lahendamine

Enne kui õpilane asub ülesannet lahendama, tuleks veenduda, et NXT-G keskkonda on lisatud juba *Vernier* plokk. Õpilane võib bloki ka ise lisada, kuid siis tuleks anda talle ka vajaduse korral juhiseid. Kui mingil põhjusel andurile tulemusi ei kuvata, siis tuleks üle kontrollida esimese asjana ühendused portidesse. Kui probleem ei lahendu on tõenäoliselt viga programmis. Tuleks kontrollida, kas õpilane kasutab mõõtmisprotsessis tsükleid või paneb programmi mingiks hetkeks ooterežiimi. Kui ta seda ei tee, lõpetatakse programmi töö kohe kui kõik blokid on täidetud ja tulemus

kuvatakse väga lühikeseks ajaks ning seda pole võimalik tuvastada. Vea korral programmis tuleks õpilane suunata tagasi ülesande lahenduse idee juurde.

3.2 Ülesanne 2

- Tase
 - Keskmine
- Eesmärk

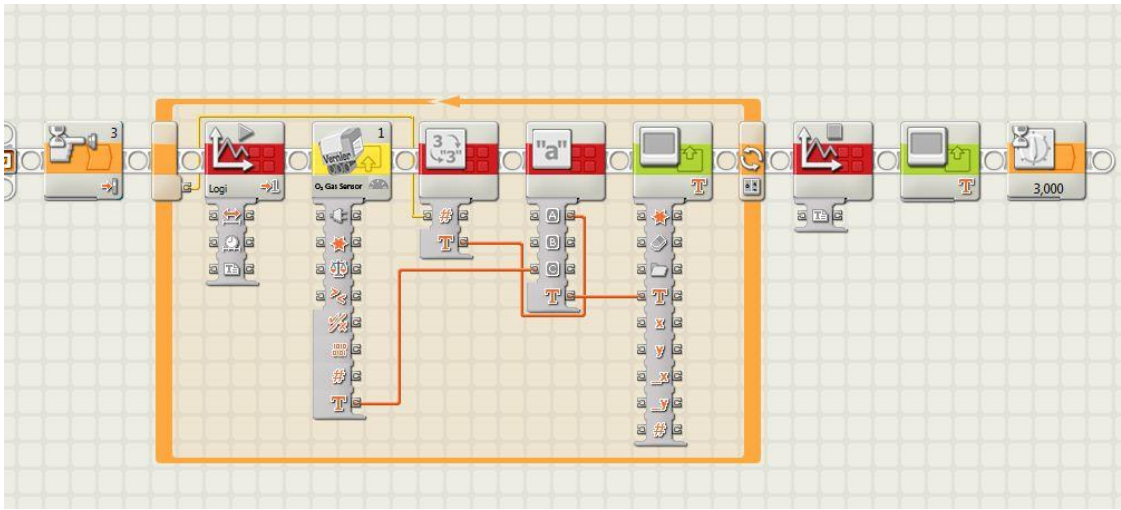
Rakendada *Vernier*' andurit koos LEGO MINDSTORMS NXT komplektiga, et mõõta reaalajas gaasilise hapniku protsent ja tutvuda NXT-G keskkonnas graafikute koostamisega.

- Ülesande täitmiseks vajalik
 - LEGO MINDSTORMS NXT komplekt
 - LEGO MINDSTORMS NXT-G tarkvaraga arvuti
 - USB kaabel juhtmooduli ühendamiseks arvutiga
 - *Vernier*' gaasilise hapniku andur
 - *Vernier*' vaheadapter
 - Üks puutetundlik andurit
- Ülesande püstitus
 - Miku on alati tahtnud teada saada kui palju erineb väljahingatava õhu hapniku kogus sissehingatava omast. Koosta programm, mis ühe nupuvajutuse peale algatab õhus oleva hapniku mõõtmise ja väljastab selle tulemuse NXT-G keskkonnas graafikule. Mõõtmisprotsess võiks kesta 30 sekundit, mille järel programm kuvab 3 sekundiks teate, et mõõtmine on lõppenud ja seejärel programm sulgub. Vii läbi kaks mõõtmist ja võrdle nende graafikuid *Data logging* vaates. Esimesel korral mõõda hapniku protsenti õhus, teisel korral jälgi inimese hingamisprotsessi. Muuda mõõtmistulemuste paremaks eristamiseks värvid erinevaks, näiteks punaseks ja rohelisteks. Salvesta saadud graafik ja esita juhendajale hindamiseks. Mis juhtub kui mõõtmisjärjekorda muuta?
- Lahenduse idee

- Heaks põhjaks on esimese ülesande lisaülesande lahendus. Seega alustuseks realiseeri programm, mis sooritab teatud arvu mõõtmisi. Seejärel lisa tulemused graafikule. Viimase sammuna lisa puutetundliku anduri tulemuse lugemine.

3.2.1 Ülesande 2 lahendus

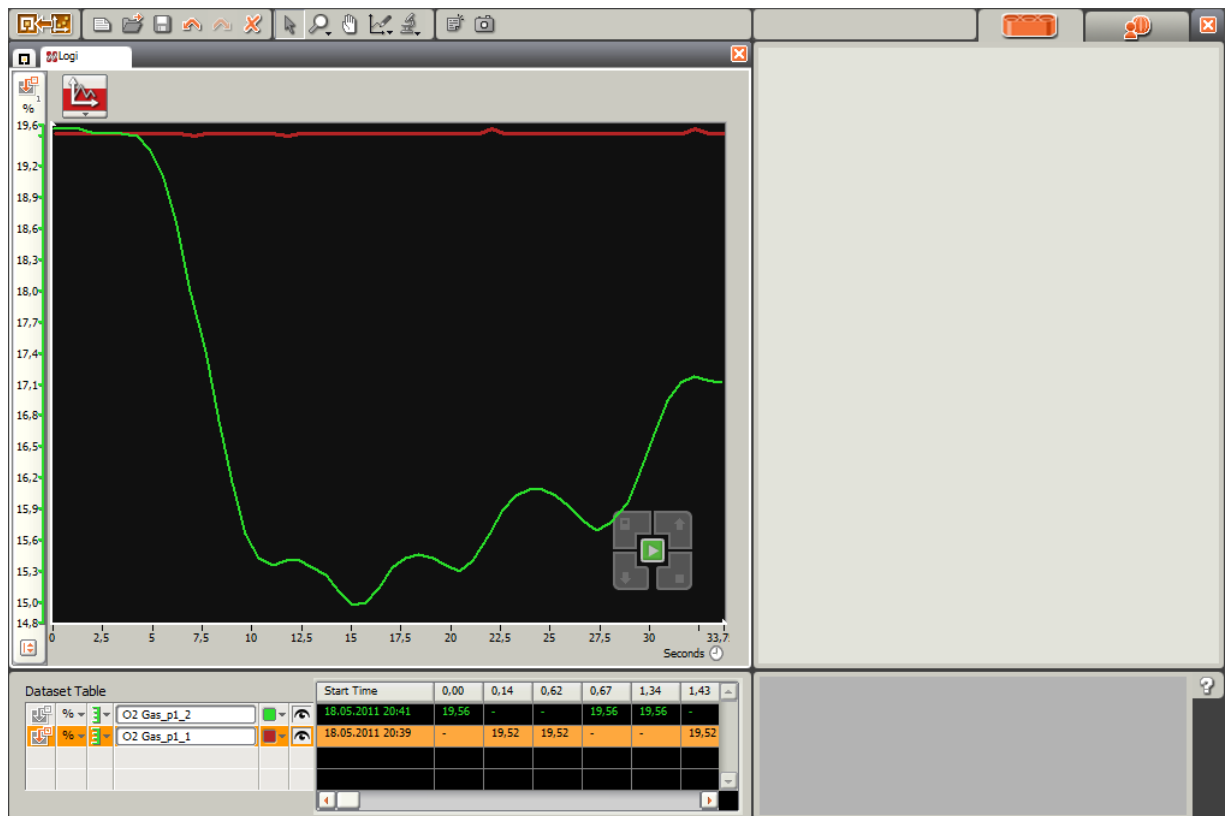
- Üks lahenduse variant:



Joonis 18. Ülesande 2 lahendus

Programm alustab ooterežiimis. Kui puutetundlik andur on saanud väärtuse *Pressed*, mis tähendab, et nuppu on alla vajutatud, alustatakse tööd tsükliis. Tsükliit läbitakse 50 korda. Esimese sammuna kirjutatakse faili nimega Logi ühe mõõtmise tulemus. Et kuvada tulemusi ekraanil küsime andurilt veel korra mõõtmistulemust. Sarnaselt esimese ülesande lisaülesandele loendame ka siin tsüklii läbimiskordi ja väljastame selle koos mõõtmistulemusega ekraanile. Kui tsükkel on läbitud lõpetatakse logimine ja väljastatakse ekraanile teada, et mõõtmine on lõpetatud. Seejärel suletakse programm kolme sekundi pärast.

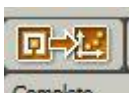
Ülesande teine osa oli kuvada mõlemad graafikud korraga ekraanile. Selleks tuleb avada *Data logging* vaade ja avada üks kahest viimasest logidest. Seejärel lisa teine logi menüüst kasutades *import* käsku. Nüüd kuvatakse mõlemad graafikud ühel ekraanil. Graafiku alumises osas saab muuta ka joonte värvi. Näidisgraafik on:



Joonis 19. Ülesande 2 lahenduse graafik

- Tekkida võivad probleemid ja nende lahendamine

Kui mingil põhjusel puutetundlik andur ei alusta tööd vajutuse peale, siis tuleks üle kontrollida, mis tüüpi puute peale andur on reageerima pandud. Kindlasti tuleb üle kontrollida, millisesse porti andur on füüsiliselt ühendatud ja millisesse NXT-G keskkonnas. Sama kehtib ka gaasilise hapniku anduri kohta. Reaalajas graafiku jälgimine on võimalik ainult siis, kui programm käivitada NXT-G keskkonnas. Kui programm käivitatakse juhtmoodulist, siis NXT-G ei kuva automaatselt graafikut. Siiski kirjutatakse tulemused logiplokis määratud faili igal mõõtmisel. Selleks, et avada mõnda varem kirjutatud logi, ava *Data Logging* vaade [Joonis 20], mis asub NXT-G keskkonna vasakus ülemises nurgas.



Joonis 20. *Data Logging* vaatesse minev nupp

Seejärel ava *File* menüüst *Open*. Seal kuvatakse kõik arvutisse salvestatud logid. Kui NXT robot on ühendatud arvutiga ja on sisse lülitatud, pääseb ligi ka sealsetele

logidele. Juhul kui logi kirjutamisel oli sama nimega fail juba olemas tehakse automaatne ümbernimetamine *loginimi_1.log*. Vajadusel suurendatakse nimes numbrilist väärtust. See tagab, et logi faile ei kirjutata kunagi üle.

3.3 Ülesanne 3

- Tase
 - Raske
- Eesmärk
 - Ehitada mõõtmiskeskus hapniku taseme mõõtmiseks põlemisprotsessis
- Ülesande täitmiseks vajalik
 - LEGO MINDSTORMS NXT komplekt
 - LEGO MINDSTORMS NXT-G tarkvaraga arvuti
 - USB kaabel juhtmooduli ühendamiseks arvutiga
 - *Vernier* gaasilise hapniku andur
 - *Vernier* vaheadapter
 - Üks puutetundlik andur
 - Kaks mootorit
 - Üks 3 liitrine purk kummist kaanega
 - Nuga
 - Tikud ja väike küünal
- Ülesande püstitus
 - Miku nägi kuidas tema vanem vend kustutas küünalt topsiga. Nimelt asetas vend topsi küünla peale ja varsti küünal kustuski. Mikut hakkas huvitama, mis seal klaasi sees täpsemalt toimub. Aita Mikul ehitada mõõtmisjaam, mis mõõdaks hapniku taset põlemisprotsessi ajal.
- Lahenduse idee
 - Selleks, et põlemisprotsessi paremini jälgida on meil vaja suletud katse keskkonda. Kasutades koduseid vahendeid võta üks 3 liitrine purk, millel on

kummist kaas. Lõika kaane sisse noaga ümmargune ring, mis on umbes kolmandiku võrra väiksem kui on anduri mõõtmisava. Suru andur tihedalt augu sisse nii, et ei jääks suuri vahesid, kust õhk saaks läbi tungida.

- Järgnevalt ehita ratastel liikuv robot, mis liigutaks külili olevat purki edasi tagasi. See on igaks juhuks meie jahutussüsteem, et purk liialt kuumaks ei läheks. Robot peab automaatselt liikuma hakkama ja ei tohi seisma jääda enne kui küünla leek on kustunud. Kui robot on suuteline jahutusprotsessi läbi viima aseta purki põlev küünal ja aseta purgile kaas koos anduriga.
- Kui alustad ja lõpetad mõõtmisprotsessi, siis anna helisignaali. Programmi lõpp jääb sinu enda otsustada, võid lõpetada kui anduri näit on langenud alla mingi taseme. Mõõtmisprotsess peab algama nupule vajutusega, kuid robot peab peab purki liigutama alates programmi käivitamise hetkest. Ära unusta ka tulemuste logimist, et pärast oleks hea graafikut uurida.
- Vasta ka järgnevatele küsimustele.

Mis oli kõige madalam mõõtmistulemus?

Miks hapniku protsent järjest langema hakkas?

Kas pärast küünla kustumist hakkas hapniku protsent tõusma? Kui nii juhtus, siis mida võib sellest järeldada?

Kokkuvõte

Antud bakalaureusetöös anti esmalt põgus ülevaade hapnikust maailmaruumis. Käsitleti hapniku keemilisi ja füüsikalisi omadusi ning rolli Maal kui ka kogu universumis. Seejärel asuti uurima firma *Vernier* poolt toodetud gaasilise hapniku andurit. Lahati selle tööpõhimõtteid ja vaadeldi parameetreid, mida tuleks kasutamisel järgida. Peale anduri ühendamist LEGO MINDSTORMS NXT komplektiga toodi kolm näidisülesannet koos lahendustega.

Kokkuvõttes valmis õppematerjal, mille abiga saavad õpetajad tavapäraseid kooli tunde põnevamaks ja mitmekesisemaks muuta. Näidisülesandeid kasutades ei pea õpetajad tegema lisatööd koolitunni ettevalmistamiseks. Seega ei suurene õpetajate töömaht võrreldes tavalise tunniga. Õpilased saavad teoreetilisi teadmisi kasutada ülesannete lahendamisel ja läbi praktika luua seoseid eelnevalt omandatud teadmistega. Lisaks on LEGO MINDSTORMS NXT robotid ja NXT-G keskkonda heaks sissejuhatuseks programmeerimisse.

Kuna sarnase sisuga bakalaureuse töid, kus tutvustatakse LEGO MINDSTORMS NXT-ga ühilduvaid sensoreid, on teisigi läbi mitmete aastate, kasutatati ülesannete ja kogu töö koostamisel kindlat formaati. See tagab tööde ühtsuse ja võimaldab kasutajatel süsteemselt uute andurite kohta teavet omandada.

Käesoleva bakalaureuse töö käigus sai autor lähemalt tuttavaks LEGO MINDSTORMS NXT robotite ja programmeerimiskeskkonna NXT-G-ga. Ülesannete loomisele läheneti loominguliselt ja üritati jätta võimalikult palju erinevaid lahendusvariante. Lisamotivatsiooni andis ka fakt, et õppematerjal leiab praktilist kasutust eesti koolides ja muudab nii mõnegi koolitunni huvitavamaks ja mälestusväärseks.

LEGO MINDSTORMS NXT and Oxygen gas sensor

The aim of this bachelor thesis was to create a learning material using LEGO MINDSTORMS NXT robot kit and oxygen gas sensor manufactured by Vernier. At first a brief introduction was made to oxygen, describing its physical and chemical properties. It also described who and how discovered oxygen. The theoretical part also tried to give a lot of examples from everyday life.

The second part of this thesis was to introduce the Oxygen gas sensor. This included the work basics of the sensor and parameters which have to be taken into account when measuring the level of oxygen. Next it was showed how to connect the sensor with LEGO MINDSTORMS NXT robot and how to use it in NXT-G programming environment.

The third part of the thesis presented three exercises that need oxygen gas sensor to be solved. Each exercise is more complicated than the previous. The first exercise is a “Hello World” type of program, which focuses on printing out some text on the screen. Usually the text is “Hello World”, in this case though we displayed the oxygen gas level in air on the LEGO MINDSTORMS NXT robot’s screen. The second and third exercises are more complicated and focus on measuring the oxygen level in various processes. Each exercise also included a solution and all programs are available on a CD which is added to this paper.

This learning material will be used in various Estonian schools that have joined the project called “Kooliroboti projekt”. The project focuses on making engineering more popular and adding extra practical lessons to everyday classes.

Viited

1. Kooliroboti projekt <http://www.robootika.ee/lego/projekt/index.php/projektist/> viimati vaadatud 28.05.2011
2. Hapniku leidumine <http://en.wikipedia.org/wiki/Oxygen> viimati vaadatud 28.05.2011
3. Hapniku leidumine <http://et.wikipedia.org/wiki/Hapnik> viimati vaadatud 28.05.2011
4. Hapniku protsent inimkehas Elementide Keemia, Hergi Karik, Kalle Kruus lk 464, peatükk 18.2.1
5. Hapniku avastamine Elementide Keemia, Hergi Karik, Kalle Kruus lk 464, peatükk 18.2.2
6. Joonis Antoine Lavoisier <http://spcpchemroom9.blogspot.com/2010/07/antoine-lavoisier.html> , Carl W. Scheele <http://www.carondelet.pvt.k12.ca.us/PeriodicTable/F/> , Joseph Priestley <http://www.utilitarianism.com/joseph-priestley.html> viimati vaadatud 28.05.2011
7. Hapniku mürgitus http://en.wikipedia.org/wiki/Oxygen_toxicity viimati vaadatud 28.05.2011
8. Anorgaanilise keemia alused, H. Karik, A. Töldsepp lk 196
9. UV-kiirgus <http://www.emhi.ee/?ide=29,720,1034> viimati vaadatud 28.05.2011
10. Joonis taevas <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Skysshot.jpg> viimati vaadatud 28.05.2011
11. Joonis vedel hapnik https://cac07science.wikispaces.com/basil_picture viimati vaadatud 28.05.2011
12. Mittemetallid <http://et.wikipedia.org/wiki/Mittemetallid> viimati vaadatud 28.05.2011
13. Oksiidid, Elementide Keemia, Hergi Karik, Kalle Kruus lk 469, peatükk 18.2.6
14. Hapniku taastootmine, Elementide Keemia, Hergi Karik, Kalle Kruus lk 464, peatükk 18.2.1
15. Hapniku kasutusala, Elementide Keemia, Hergi Karik, Kalle Kruus lk 474, peatükk 18.2.8
16. Gaasilise hapniku andur http://www.vernier.com/images/products/o2-bta_web.jpg viimati vaadatud 28.05.2011
17. Firma Vernier http://en.wikipedia.org/wiki/Vernier_Software_%26_Technology viimati vaadatud 28.05.2011

18. Anduri manuaal <http://www2.vernier.com/booklets/o2-bta.pdf> viimati vaadatud 28.05.2011
19. Joonis mõõtepudel http://www.vernier.com/images/products/co2-btl_web.jpg viimati vaadatud 28.05.2011
20. Eesti keskmine õhuniiskus http://et.wikipedia.org/wiki/Eesti_kliima viimati vaadatud 28.05.2011
21. Joonis LEGO MINDSTORMS NXT juhtmoodul http://www.aforgenet.com/articles/driving_lego_bot/nxt.jpg viimati vaadatud 28.05.2011
22. *Vernier*' adapter <http://engineering.vernier.com/images/interfaces/bta-nxt.jpg> viimati vaadatud 28.05.2011
23. *Vernier*' andurite plokk <http://engineering.vernier.com/general/software/mindstorms/> viimati vaadatud 28.05.2011
24. Joonis USB kaabli standard-A ja standard-B tüübid. <http://shop.kom.at/images/shoptool/H31647.jpg> viimati vaadatud 28.05.2011

Tabelid

Tabel 1. Suhtelise õhuniiskuse ja hapniku koguse protsentuaalne osakaal õhus <http://www2.vernier.com/booklets/o2-bta.pdf>

Lisad

1. Lisa CD, millelt leiab lahendused kõigile kolmele põhiülesandele ja esimesele lisaülesandele. Failid on järgmiste nimedega:

- Ylesanne1.rbt
- Ylesanne1_lisa.rbt
- Ylesanne2.rbt
- Ylesanne3.rbt